JCSS
Japan Calibration
Service System

JCSS
不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分：硬さ
校正手法の区分の呼称：ロックウェル硬さ試験機等
計量器等の種類：ロックウェル硬さ試験機、ロックウェル硬さ標準片

（第 7 版）

（JCG218S11－07）

改定：2026年4月1日

独立行政法人製品評価技術基盤機構
適合性評価推進センター　認定センター

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

目　　次

１．目的 **3**
２．引用規格及び関連文書 **3**
２．１ 引用規格 3
３．ロックウェル硬さの定義 **4**
４．ロックウェル硬さ試験機校正の不確かさ **5**
４．１ 試験機校正における不確かさ要因、および、合成標準不確かさ 5
４．２ 初試験力の標準不確かさ 5
４．３ 試験力の標準不確かさ 6
４．４ 押し込み深さ測定装置の標準不確かさ 7
４．５ 硬さ値の表示分解能による標準不確かさ 8
４．６ 間接検証における標準不確かさ 9
４．７ ロックウェル硬さ試験機校正における校正値と拡張不確かさ 10
４．８ ロックウェル硬さ試験機校正における校正値と拡張不確かさの報告 10
５．ロックウェル硬さ標準片校正の不確かさ **12**
５．１ 硬さ標準片校正の不確かさ要因 および 合成標準不確かさ 12
５．２ 初試験力の標準不確かさ 13
５．３ 試験力の標準不確かさ 13
５．４ 押し込み深さ測定装置の標準不確かさ 13
５．５ 硬さ値の表示分解能による標準不確かさ 14
５．６ 間接検証における標準不確かさ 14
５．７ 押し込みサイクル（押し込み時間）の標準不確かさ 15
５．８ 圧子の形状の標準不確かさ 16
５．９ 試験機のヒステリシスの標準不確かさ 17
５．１０ 硬さ標準片の不均一性による標準不確かさ 18
５．１１ その他の要因による標準不確かさ 19
５．１２ ロックウェル硬さ標準片校正における校正値と拡張不確かさの報告 19
６．感度係数 **20**
７．有効自由度について **21**
８．不確かさバジェットの例 **21**
９．参考文献 **28**

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分：硬さ
校正手法の区分の呼称：ロックウェル硬さ試験機等
計量器等の種類：ロックウェル硬さ試験機、ロックウェル硬さ標準片

1．目的

このガイドは、ロックウェル硬さ試験機の校正およびロックウェル硬さ標準片の校正を行う場合に考慮すべき不確かさとその計算例について記載したものである。校正サービスを行う事業者が参照し不確かさの見積もりを行うための一助となることを期待する。

このガイドでは、ロックウェル硬さ試験機校正の不確かさの求め方およびロックウェル硬さ標準片校正の不確かさの求め方についてそれぞれ章を分けて記述する。その後、共通の項目として各不確かさの要因の感度係数について述べる。

2．引用規格及び関連文書

2．1 引用規格

JIS Z 2245:2021 ロックウェル硬さ試験―試験方法

JIS B 7726:2017 ロックウェル硬さ試験―試験機及び圧子の検証及び校正

JIS B 7730:2017 ロックウェル硬さ試験―基準片の校正

ISO 6508-1:2023 Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1：Test method
（金属材料－ロックウェル硬さ試験－第1部：試験方法）

ISO 6508-2:2023 Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 2：Verification and calibration of testing machines and indenters
（金属材料－ロックウェル硬さ試験－第2部：試験機及び圧子の検証及び校正）

ISO 6508-3:2023 Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 3：Calibration of reference blocks
（金属材料－ロックウェル硬さ試験－第3部：基準片の校正）

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

3. ロックウェル硬さの定義

ロックウェル硬さは次式により求められる。標準片の校正値は少なくとも 5 点のくぼみの平均値によって校正値とされる。

$$H = N - \frac{h}{S}$$

ここで、

H： ロックウェル硬さ［HR*］　　*はロックウェルスケールを示す

h： 2 回の初試験力における圧子押し込み深さの差［μm］

N： スケールに固有の定数

A, C, D スケール	N = 100
B, E, F, G, H, K スケール	N = 130
N, T スケール	N = 100

S: 換算定数

A, C, D スケール	S = 2
B, E, F, G, H, K スケール	S = 2
N, T スケール	S = 1

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

4. ロックウェル硬さ試験機校正の不確かさ

4．1 試験機校正における不確かさ要因、および、合成標準不確かさ u_M

試験機の校正における不確かさを見積もる場合、以下の不確かさ要因を考慮する必要がある。また、便宜上、各要因に対する標準不確かさを以下の記号で表すことにする。

- ・初試験力 u_{F0}
- ・試験力 u_{F1}
- ・押し込み深さ測定装置 u_L
- ・硬さ値の表示分解能 u_{ms}
- ・間接検証 u_{HTM}

ここで、u_{HTM} 以外の要因は u_{HTM} に含まれるため、厳密にはダブルカウントとなる。しかしながら、試験機の使用範囲を考慮して基本的には u_{HTM} 以外も見積もる必要がある。すなわち、ロックウェル硬さ試験機校正における合成標準不確かさ u_M をまとめると以下のようになる。

$$u_{\mathrm{M}} = \sqrt{u_{\mathrm{F0}}^2 + u_{\mathrm{F1}}^2 + u_{\mathrm{L}}^2 + u_{\mathrm{ms}}^2 + u_{\mathrm{HTM}}^2}$$

4．2 初試験力の標準不確かさ

初試験力の標準不確かさ u_{F0} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{F0}} = \sqrt{u_{\mathrm{FRS0}}^2 + u_{\mathrm{FAG0}}^2 + u_{\mathrm{FHTM0}}^2}$$

ここで、u_{FRS0} は初試験力校正用検具（力計等）校正の標準不確かさ、u_{FAG0} は力計等の安定性による標準不確かさ、u_{FHTM0} は初試験力検証における標準不確かさを表す。

4．2．1 初試験力校正用検具（力計等）の校正の標準不確かさ u_{FRS0}

校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数（通常は包含係数, k = 2）で除して求める。

例 校正証明書記載の拡張不確かさが 0.05 % (k = 2) の場合、初試験力 98.07 N に対する拡張不確かさは 0.04904 N (k = 2)となり、
u_{FRS0} = 0.04904 ／ 2 =0.02452 N となる。

4．2．2 初試験力校正用検具（力計等）の安定性による標準不確かさ u_{FAG0}

複数回の校正履歴などから推定できるが、回数が少ない場合等は 0.02 % (200 ppm)を見積もる。

例 0.02 %を標準不確かさとして見積もる場合、初試験力 98.07 N に対しては、
u_{FAG0} = 0.01961 N となる。

4．2．3 初試験力検証における標準不確かさ u_{FHTM0}

評価データを用いる方法と規格の許容値を用いる方法がある。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

●方法 1 評価データを用いる場合

試験力発生機構の原理上、試験力を発生させる位置により試験力が異なることがある。試験力発生の特性が把握できている試験機製造メーカや負荷時の試験力を実際に測定し、フィードバック制御等を行っている場合を除き、基本的には試験力を発生させるための位置マークなどを考慮し、測定に用いる上限、中間、下限を考慮して 3 位置で少なくとも 3 回の計 9 回の測定を行う。標準不確かさは測定値の規格値からの差に対する分散の平方根として推定する。

例 上限、中間、下限を考慮した 3 位置で 3 回（計 9 点）の初試験力 98.07 N の検証を行った場合、
測定値を F_{0_j} [N]（j = 1～9）とすると、u_{FHTM0} は以下で見積もられる。

$$u_{\mathrm{FHTM0}} = \sqrt{\frac{\sum\left(F_{0_j} - 98.07\right)^2}{9}}$$

※ 例えば 9 点の測定値がすべて 99.07 N、即ち F_{0_j} − 98.07 N＝1 N の場合、u_{FHTM0} = 1 N となる。

●方法 2 規格の許容値を用いる場合

前節の手法により各位置で測定された試験力が規格等の初試験力許容値範囲内にすべて含まれていることを確認し、許容値より標準不確かさを推定することができる。

例 JIS B 7726 に規定された硬さ試験機に対する初試験力の許容値は±2 %であり、初試験力 98.07 N に対しては±1.961 N である。矩形分布を仮定すると、
u_{FHTM0} = 1.961 / $\sqrt{3}$ = 1.132 N となる。

4．3 試験力の標準不確かさ

試験力の標準不確かさ u_{F1} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{F1}} = \sqrt{u_{\mathrm{FRS1}}^2 + u_{\mathrm{FAG1}}^2 + u_{\mathrm{FHTM1}}^2}$$

ここで、u_{FRS1} は試験力校正用検具（力計等）校正の標準不確かさ、u_{FAG1} は力計等の安定性による標準不確かさ、u_{FHTM1} は試験力検証における標準不確かさを表す。

4．3．1 試験力校正用検具（力計等）の校正の標準不確かさ u_{FRS1}

校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数（通常は包含係数, k = 2）で除して求める。

例 校正証明書記載の拡張不確かさが 0.05 %（k = 2） の場合、試験力 1471 N に対する拡張不確かさは 0.7355 N（k = 2）となり、
u_{FRS1} = 0.7355 / 2 = 0.3678 N となる

4．3．2 試験力校正用検具（力計等）の安定性による標準不確かさ u_{FAG1}

複数回の校正履歴などから推定できるが、回数が少ない場合等は 0.02 %（200 ppm）を見積もる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 0.02 %を標準不確かさとして見積もる場合、試験力 1471 N に対しては、
u_{FAG1} = 0.2942 N となる。

4．3．3 試験力検証における標準不確かさ u_{FHTM1}
評価データを用いる方法と規格の許容値を用いる方法がある。

●方法 1 評価データを用いる場合
試験力発生機構の原理上、試験力を発生させる位置により試験力が異なることがある。試験力発生の特性が把握できている試験機製造メーカや負荷時の試験力を実際に測定し、フィードバック制御等を行っている場合を除き、基本的には試験力を発生させるための位置マークなどを考慮し、測定に用いる上限、中間、下限を考慮して 3 位置で少なくとも 3 回の計 9 回の測定を行う。標準不確かさは測定値の規格値からの差に対する分散の平方根として推定する。

例 上限、中間、下限を考慮した 3 位置で 3 回（計 9 点）の試験力 1471 N の検証を行った場合、
測定値を F_{1_j} [N]（j = 1～9）とすると、u_{FHTM1} は以下で見積もられる。

$$u_{\mathrm{FHTM1}} = \sqrt{\frac{\sum\left(F_{1_\mathrm{j}} - 1471\right)^2}{9}}$$

※ 例えば（F_{1_j} − 1471 N）の検証結果が 9 点全て 3 N の場合、u_{FHTM1} = 3 N となる。

●方法 2 規格の許容値を用いる場合
前節の手法により各位置で測定された試験力が規格等の試験力許容値範囲内にすべて含まれていることを確認し、許容値より標準不確かさを推定することができる。

例 JIS B 7726 に規定された硬さ試験機に対する試験力の許容値は±1%であり、試験力 1471 N に対しては±14.71 N である。矩形分布を仮定すると、
u_{FHTM1} = 14.71 ／ $\sqrt{3}$ = 8.493 N となる。

4．4 押し込み深さ測定装置の標準不確かさ

押し込み深さ測定装置の標準不確かさ u_L は次式で示される。

$$u_{\mathrm{L}} = \sqrt{u_{\mathrm{LRS}}^2 + u_{\mathrm{LHTM}}^2}$$

ここで、u_{LRS} は押し込み深さ測定装置の校正の標準不確かさ、u_{LHTM} は押し込み深さ測定装置の検証における標準不確かさを表す。

4．4．1 深さ測定装置校正用検具（指示計測装置等）の校正の標準不確かさ u_{LRS}
校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数（通常は包含係数, k = 2）で除して求める。

例 校正証明書記載の拡張不確かさが 0.12 μm（k = 2）の場合、
u_{FLRS} = 0.12 ／ 2 = 0.06 μm

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

4．4．2 深さ測定装置の検証における標準不確かさ u_{LHTM}

評価データを用いる方法と規格の許容値を用いる方法がある。

●方法 1 評価データを用いる場合

押し込み深さ測定装置の検証は、使用範囲に対し均等な 4 区間以上について測定を行う。標準不確かさは測定値の規格値からの差に対する分散の平方根として推定する。

例 押し込み深さ計測装置の指示値を 10 HRC ピッチで 100 HRC～0 HRC の合計 11 箇所、すなわち、20 μm ピッチで 0 μm～200 μm について各 3 回計測した場合、測定値を L_{ij} [μm]（i = 1～11, j = 1～3）、11 ヶ所の測定位置を L_{N_i}（i = 1～11） = 0, 20, 40 … 200 μm とすると、u_{LHTM} は以下で見積もられる。

$$u_{LHTM} = \sqrt{\frac{\sum\left(L_{ij} - L_{N_i}\right)^2}{33}}$$

※ 例えば $L_{ij} - L_{N_i}$ の検証結果が 33 点全て 0.2 μm の場合、u_{LHTM} = 0.2 μm となる。

●方法 2 規格の許容値を用いる場合

前節の手法により各位置で測定された押し込み深さ測定装置の検証結果が許容値範囲内にすべて含まれていることを確認し、許容値より標準不確かさを推定することができる。

例 JIS B 7726 に規定されたロックウェル硬さ試験機に対する押し込み深さ測定装置の許容値は±1 μm であり、矩形分布を仮定すると、

u_{LHTM} = 1 / $\sqrt{3}$ = 0.5774 μm となる。

※ ±1 μm はロックウェルスケールに対しては±0.5 HR、ロックウェルスーパーフィシャルスケールに対しては±1 HR に相当する。

補足

初試験力、試験力および押し込み深さ測定装置の検証における標準不確かさ見積もりにおいて、規格値からの差ではなく平均値からの差を用いて推定する方法もある。この場合は、残差平方和を（測定回数 − 1)で除する必要がある。この方法は JIS B 7726 に参考に記載されている。ただし、平均値からの差として求めた場合は規格値からのかたより成分が含まれないことに注意が必要であり、最終的に試験機校正の合成標準不確かさを求める場合には、このかたよりを考慮する必要がある。

4．5 硬さ値の表示分解能による標準不確かさ

試験機の硬さ値の読み取り分解能による標準不確かさ u_{ms} の評価は、試験機の硬さ読み取り値（表示値）が分解能の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 試験機の硬さ表示分解能が 0.1 HR の場合、±0.05 HR の矩形分布を仮定すると、

u_{ms} = 0.05 / $\sqrt{3}$ = 0.02887 HR となる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

４．６ 間接検証における標準不確かさ

間接検証における標準不確かさ u_{HTM} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{HTM}} = \sqrt{u_{\mathrm{CRM}}^2 + u_{\mathrm{HCRM}}^2}$$

ここで、u_{CRM} は間接検証に用いた硬さ標準片校正値の標準不確かさ、u_{HCRM} は硬さ値の検証における標準不確かさを表す。

４．６．１ 間接検証に用いた硬さ標準片校正値の標準不確かさ u_{CRM}

校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数（通常は包含係数, k = 2）で除して求める。

例 公称値 60 HRC の標準片において、校正証明書記載の拡張不確かさが 0.58 HRC (k = 2)の場合、
u_{CRM} = 0.58 ／ 2 = 0.29 HRC となる

４．６．２ 硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM}

硬さ標準片に対し複数点（一般的には 5 点）の測定を実施し、測定値の実験標準偏差 s_H を求める。ここで、硬さ標準片に対する測定値として平均値を用いるため、5 点測定の場合は実験標準偏差を$\sqrt{5}$で除した値が、硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM} となる。

例 硬さ標準片を 5 点測定した際の測定値を H_i(i = 1, 2, 3, 4, 5)、平均値を H_{AVE} とすると実験標準偏差 s_H は次式で表される。

$$s_{\mathrm{H}} = \sqrt{\frac{\sum(H_{\mathrm{i}} - H_{\mathrm{AVE}})^2}{5-1}}$$

※ 5 − 1 = 4 は自由度と呼ばれ、通常、残差平方和（上式の$\sum(H_{\mathrm{i}} - H_{\mathrm{AVE}})^2$）を除する値である。計算に必要な不偏分散を平均値からの差を用いて推定しているので、平均値を求めたことにより自由度は測定回数より 1 減少する。

測定値として、5 点測定の平均値を用いるので、硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM} は次式で表される。

$$u_{\mathrm{HCRM}} = \frac{s_{\mathrm{H}}}{\sqrt{5}}$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

硬さ標準片の校正値 H_{CRM} = 60.0 HRC の硬さ標準片を用いて硬さ値の検証(間接検証)を実施した際、次の結果が得られたとすると、s_H = 0.10 HRC、u_{HCRM} = 0.0447 HRC となる。

	測定値
1 点目	60.5 HRC
2 点目	60.4 HRC
3 点目	60.3 HRC
4 点目	60.3 HRC
5 点目	60.5 HRC
平均値	60.4 HRC

4．7 ロックウェル硬さ試験機校正における校正値と拡張不確かさ

間接検証における硬さ標準片の測定値 H_{AVE}(5 点測定の平均値)の、硬さ標準片の校正値 H_{CRM} からの差(かたより)b が校正値となる。校正値に付随する拡張不確かさ U は上述の試験機校正における合成標準不確かさ u_M に包含係数 k(通常 k = 2)を乗じた値となる。

$$U = u_M \times 2$$

例 硬さ標準片測定値の平均値 H_{AVE} = 60.4 HRC、標準片の校正値 H_{CRM} = 60.0 HRC とすると、校正値は +0.4 HRC となる。また、u_M = 0.364 HRC の場合、拡張不確かさ U は $u_M \times 2$ = 0.728 、すなわち、U = 0.73 HRC (k = 2)となる。

4．8 ロックウェル硬さ試験機校正における校正値と拡張不確かさの報告

試験機の校正値および校正値に付随する不確かさは前項で説明の通りであるが、硬さ試験機の使用者にとっては、かたより b を含んだ値が重要となることから、校正値の不確かさに加え、かたよりの不確かさを含んだ試験機の最大偏差 ΔH_{max} を報告することもできる。この場合の不確かさの推定方法として、試験機の校正値の拡張不確かさ U に b の絶対値を加える方法がある。すなわち次の式で示される。

$$\Delta H_{max} = U + |b|$$

あるいは、硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM} の代わりに、b の影響を加算した u_{HCRM}' を用いる方法がある。u_{HCRM}' は用いた硬さ標準片の校正値 H_{CRM} を用いて次のように表される。

$$u_{HCRM}' = \sqrt{\frac{\sum(H_i - H_{CRM})^2}{5}}$$

※ 自由度を減少させる要因がないので、自由度 = 測定回数となる。またこの場合、平均値を用いても、かたより成分の不確かさは小さくはならず、ばらつき成分との切り分けも難しいので、通常は測定回数の平方根で除さない。

この場合、かたより b の影響が考慮された間接検証における標準不確かさを u_{HTM}' 、b の影響が考慮された試験機校正の標準不確かさを u_M' とすると、かたよりの不確かさを含んだ試験機の最大偏差 ΔH_{max} は次のよう表される。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

$u_{\mathrm{HTM}}{}' = \sqrt{u_{\mathrm{CRM}}^2 + u_{\mathrm{HCRM}}^2{}'}$　$u_{\mathrm{M}}{}' = \sqrt{u_0^2 + u_{\mathrm{F1}}^2 + u_{\mathrm{L}}^2 + u_{\mathrm{ms}}^2 + u_{\mathrm{HTM}}^2{}'}$　$\Delta H_{\max} = u_{\mathrm{M}}' \times 2$

報告例 1　試験機の校正値の拡張不確かさ *U* に *b* を加える方法を適用した場合

試験機の間接検証における標準片校正値からのかたより *b* = +0.4 HRC、試験機校正における合成標準不確かさ u_M = 0.364 HRC の場合、以下のように報告できる。

校正値　：+0.4 HRC
校正値の拡張不確かさ *U*　：0.73 HRC (*k* = 2)
かたよりの不確かさを含んだ試験機の最大偏**差 $\Delta H_{\max}$**：1.13 HRC (*k* = 2)

※ 校正値 = *b*,　$U = u_M \times 2$,　$\Delta H_{\max} = U + |b|$

報告例 2　硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM} の代わりに、*b* の影響を加算した u_{HCRM}' を用いる方法を適用した場合

試験機の間接検証における標準片校正値からのかたより *b* = +0.4 HRC、かたより *b* を考慮した硬さ値の検証における標準不確かさ u_{HCRM}' を用いた際の試験機校正の合成標準不確かさ u_M' = 0.57 HRC の場合、以下のように報告できる。

校正値　：+0.4 HRC
校正値の拡張不確かさ *U*　：0.73 HRC (*k* = 2)
かたよりの不確かさを含んだ試験機の最大偏**差 $\Delta H_{\max}$**：1.14 HRC (*k* = 2)

※ 校正値 = *b*,　$U = u_M \times 2$,　$\Delta H_{\max} = u_M' \times 2$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

5. ロックウェル硬さ標準片校正の不確かさ

5．1 硬さ標準片校正の不確かさ要因 および 合成標準不確かさ u_B

標準片の校正における不確かさを見積もる場合、以下の不確かさ要因を考慮する必要がある。また、便宜上、各要因に対する標準不確かさを以下の記号で表すことにする。

- ・初試験力 u_{F0}
- ・試験力 u_{F1}
- ・押し込み深さ測定装置 u_L
- ・硬さ値の表示分解能 u_{ms}
- ・間接検証 u_{HTM}
- ・押し込みサイクル（時間または速度） u_T
- ・圧子形状 u_I
- ・試験機のヒステリシス u_S
- ・標準片の均一性 u_U
- ・その他の要因 u_E

ここで、標準片校正に用いる試験機の検証において、さらに上位の標準片を用いる場合と、用いない場合が考えられる。上位の標準片用いない場合は、間接検証は実施しないので u_{HTM} を考慮することはできない。その代わりに4章に記載した試験機校正における不確かさ要因に加え、u_T、u_I、u_S、および u_E を考慮する必要がある。上位の標準片を用いる場合は u_T、u_I、u_S、および u_E は u_{HTM} に含まれると考えてもよい。ただし、ロックウェル硬さ試験においては圧子の影響が大きく、通常よりも高精度な検証が要求される標準片校正用試験機に対しては、u_I、も考慮したほうが良い場合もある。

すなわち、硬さ標準片の校正における合成標準不確かさ u_B は次のように表される。

● 標準片校正用試験機の検証において上位の標準片を用いない場合。

$$u_{\mathrm{B}} = \sqrt{u_{\mathrm{F0}}^2 + u_{\mathrm{F1}}^2 + u_{\mathrm{L}}^2 + u_{\mathrm{ms}}^2 + u_{\mathrm{T}}^2 + u_{\mathrm{I}}^2 + u_{\mathrm{S}}^2 + u_{\mathrm{U}}^2 + u_{\mathrm{E}}^2}$$

● 標準片校正用試験機の検証において上位の標準片を用いる場合。

$$u_{\mathrm{B}} = \sqrt{u_{\mathrm{F0}}^2 + u_{\mathrm{F1}}^2 + u_{\mathrm{L}}^2 + u_{\mathrm{ms}}^2 + u_{\mathrm{HTM}}^2 + u_{\mathrm{U}}^2} = \sqrt{u_{\mathrm{M}}^2 + u_{\mathrm{U}}^2}$$

※ 標準片校正用試験機の検証に上位の標準片を用いる場合の考え方は、主に、国家標準機関が校正した第一階層の硬さ標準片を用いて試験機を検証する場合に適用される。あるいは、一般試験機にて硬さ標準片や試験片を測定したときの測定値の不確かさを推定する際に適用される。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

５．２ 初試験力の標準不確かさ

初試験力の標準不確かさ u_{F0} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{F0}} = \sqrt{u_{\mathrm{FRS0}}^2 + u_{\mathrm{FAG0}}^2 + u_{\mathrm{FHTM0}}^2}$$

ここで、u_{FRS0} は初試験力校正用検具（力計等）校正の標準不確かさ、u_{FAG0} は力計等の安定性による標準不確かさ、u_{FHTM0} は初試験力検証における標準不確かさを表す。各標準不確かさの推定方法は 4 章 4.2 で記載した方法と全く同じである。

例 JIS B 7730 に規定された標準片校正用の硬さ試験機に対する初試験力の許容値は±0.2 %であり、初試験力 98.07 N に対しては±0.1961 N である。矩形分布を仮定すると、
u_{FHTM0} = 0.1961 ／ $\sqrt{3}$ = 0.1132 N となる。

５．３ 試験力の標準不確かさ

試験力の標準不確かさ u_{F1} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{F1}} = \sqrt{u_{\mathrm{FRS1}}^2 + u_{\mathrm{FAG1}}^2 + u_{\mathrm{FHTM1}}^2}$$

ここで、u_{FRS1} は試験力校正用検具（力計等）校正の標準不確かさ、u_{FAG1} は力計等の安定性による標準不確かさ、u_{FHTM1} は試験力検証における標準不確かさを表す。各標準不確かさの推定方法は 4 章 4.3 で記載した方法と全く同じである。

例 JIS B7730 に規定された硬さ試験機に対する試験力の許容値は±0.1%であり、試験力 1471 N に対しては±1.471 N である。矩形分布を仮定すると、
u_{FHTM1} = 1.471 ／ $\sqrt{3}$ = 0.8493 N となる。

５．４ 押し込み深さ測定装置の標準不確かさ

押し込み深さ測定装置の標準不確かさ u_{L} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{L}} = \sqrt{u_{\mathrm{LRS}}^2 + u_{\mathrm{LHTM}}^2}$$

ここで、u_{LRS} は押し込み深さ測定装置（ブロックゲージ等）の校正の標準不確かさ、u_{LHTM} は押し込み深さ測定装置の検証における標準不確かさを表す。各標準不確かさの推定方法は 4 章 4.4 で記載した方法と全く同じである。

例 JIS B7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機に対する押し込み深さ測定装置の拡張不確かさは、0.2 μm（k = 2）が推奨されている。この規格に準拠した試験機の場合、
u_{LHTM} = 0.2 ／ 2 = 0.1 μm となる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

５．５ 硬さ値の表示分解能による標準不確かさ

試験機の硬さ値の読み取り分解能による標準不確かさ u_{ms} の評価は、試験機の硬さ読み取り値（表示値）が分解能の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 試験機の硬さ表示分解能が 0.1 HR の場合、±0.05 HR の矩形分布を仮定すると、
u_{ms} = 0.05 ／ $\sqrt{3}$ = 0.02887 HR となる。

５．６ 間接検証における標準不確かさ

標準片校正用の試験機の検証において上位の標準片を用いた場合に考慮する必要がある。間接検証における標準不確かさ u_{HTM} は次式で示される。

$$u_{\mathrm{HTM}} = \sqrt{u_{\mathrm{CRM}}^2 + u_{\mathrm{HCRM}}^2}$$

ここで、u_{CRM} は間接検証に用いた硬さ標準片校正値の標準不確かさ、u_{HCRM} は硬さ値の検証における標準不確かさを表す。各標準不確かさの推定方法は 4 章で記載した方法と同じであるが、最終的に報告する硬さ標準片校正の拡張不確かさは、間接検証における測定値と、標準片校正値との差（かたより）b を考慮する必要がある。

その方法として、最終的に拡張不確かさを求めるときに、かたよりを考慮する方法と、硬さ値検証における標準不確かさ u_{HCRM} に対してかたより考慮する方法の 2 通りがある。

●方法 1 間接検証における不確かさにはかたよりを考慮せず、最終的に拡張不確かさを求めるときに考慮する場合

後述の 5.12 を参照

●方法 2 間接検証における不確かさに対してかたよりを考慮する場合

u_{HCRM} の代わりに、かたよりの影響を加算した u_{HCRM}’ を用いる必要がある。u_{HCRM}’ は硬さ標準片の校正値 H_{CRM} を用いて次のように表される。

$$u_{\mathrm{HCRM}}{}' = \sqrt{\frac{\sum(H_{\mathrm{i}} - H_{\mathrm{CRM}})^2}{5}}$$

例 硬さ標準片の校正値 H_{CRM} = 60.0 HRC の硬さ標準片を用いて硬さ値の検証（間接検証）を実施した際、次の結果が得られたとすると、u_{HCRM}’ = 0.410 HRC となる。

	測定値
1 点目	60.5 HRC
2 点目	60.4 HRC
3 点目	60.3 HRC
4 点目	60.3 HRC
5 点目	60.5 HRC
平均値	60.4 HRC

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

※ 硬さ標準片の校正値からの差を用いて間接検証における不確かさを推定した場合は、自由度を減少させる要因がないので、自由度 = 測定回数となる。またこの場合、平均値を用いても、かたより成分の不確かさは小さくはならず、ばらつき成分との切り分けも難しいので、通常は測定回数の平方根で除さない。

5．7 押し込みサイクル（押し込み時間）の標準不確かさ

試験力の標準不確かさ u_T は次式で示される。

$$u_{\mathrm{T}} = \sqrt{u_{\mathrm{T1}}^2 + u_{\mathrm{T2}}^2 + u_{\mathrm{T3}}^2 + u_{\mathrm{T4}}^2}$$

ここで、u_{T1} は初試験力保持時間の標準不確かさ、u_{T2} は全試験力への到達時間の標準不確かさ、u_{T3} は試験力保持時間の標準不確かさ、u_{T4} は除荷後の硬さ値読み取りまでの待機時間の標準不確かさを表す。

5．7．1 初試験力保持時間の標準不確かさ u_{T1}

保持時間を評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法があるが、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また、この不確かさが硬さ値に及ぼす影響は小さいことから、許容値を用いるのが現実的である。この場合、保持時間の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機における初試験力保持時間は 2 s～4 s である。±1 s の矩形分布を仮定すると、
u_{T1} = 1 / $\sqrt{3}$ = 0.5774 s となる。

5．7．2 全試験力への到達時間の標準不確かさ u_{T2}

到達時間を評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法があるが、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また、この不確かさが硬さ値に及ぼす影響は小さいことから、許容値を用いるのが現実的である。この場合、到達時間の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 1 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機における到達までの時間は 1 s～8 s である。±3.5 s の矩形分布を仮定すると、
u_{T2} = 3.5 / $\sqrt{3}$ = 2.021 s となる。

例 2 HRC スケールについては硬さ値への変換のために乗ずる係数（感度係数）は押し込み速度に対する係数が公開されており、この場合、JIS B7730 で試験力到達時の圧子速度は 15 μm/s ～ 40 μm/s が推奨されていることから、12.5 μm/s 矩形分布を仮定すると、
u_{T2} = 12.5 / $\sqrt{3}$ = 7.217 μm/s となる。

5．7．3 試験力保持時間の標準不確かさ u_{T3}

保持時間を評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法があるが、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また、この不確かさが硬さ値に及ぼす影響は小さいことから、許容値を用いるのが現実的である。この場合、保持時間の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機における試験力保持時間は 4 s～6 s である。±1 s の矩形分布を仮定すると、
u_{T3} = 1 / $\sqrt{3}$ = 0.5774 s となる。

5．7．4 除荷後の硬さ値読み取りまでの待機時間の標準不確かさ u_{T4}

待機時間を評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法があるが、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また、この不確かさが硬さ値に及ぼす影響は小さいことから、許容値を用いるのが現実的である。この場合、待機時間の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機における読み取りまでの待機時間は 3 s～5 s である。±1 s の矩形分布を仮定すると、
u_{T4} = 1 / $\sqrt{3}$ = 0.5774 s となる。

5．8 圧子の形状の標準不確かさ

ロックウェル硬さ試験ではダイヤモンド円錐圧子と球圧子の 2 種類が定義されている。ダイヤモンド円錐圧子について、ダイヤモンド圧子形状の標準不確かさ u_I は次式で示される。

$$u_{\mathrm{I}} = \sqrt{u_{\mathrm{I1}}^2 + u_{\mathrm{I2}}^2}$$

ここで、u_{I1} はダイヤモンド圧子先端半径の標準不確かさ、u_{I2} はダイヤモンド圧子の円錐部角度の標準不確かさを表す。球圧子については圧子形状の標準不確かさ u_I は球の直径の不確かさで表される。

5．8．1（1） ダイヤモンド圧子先端半径の標準不確かさ u_{I1}

形状を測定して評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法がある。ただし、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また通常、この不確かさは硬さ標準片校正用試験機に対して適用されることから、圧子を管理することを考慮すると、許容値を用いるのが現実的である。この場合、圧子先端半径の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いるダイヤモンド圧子の先端半径は 200 μm±5 μm である。±5 μm の矩形分布を仮定すると、u_{I1} = 5 / $\sqrt{3}$ = 2.887 μm となる。

5．8．1（2） ダイヤモンド圧子円錐部角度の標準不確かさ u_{I2}

形状を測定して評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法がある。ただし、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また通常、この不確かさは硬さ標準片校正用試験機に対して適用されることから、圧子を管理することを考慮すると、許容値を用いるのが現実的である。この場合、圧子円錐部角度の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いるダイヤモンド圧子の円錐部角度は 120° ±0.1° である。±0.1° の矩形分布を仮定すると、u_{I2} = 0.1 / $\sqrt{3}$ = 0.05774° となる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

5．8．2 ダイヤモンド圧子形状の標準不確かさ u_I（圧子の硬さ特性を用いる場合）

規格においてダイヤモンド圧子については、形状とは別に上位圧子による硬さ測定値との差が規定されている。5．8．1および5．8．2の方法を用いる代わりに硬さ特性の許容値から求めることができる。この場合、上位圧子による硬さ測定値との差の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いるダイヤモンド圧子の上位圧子による硬さ測定値との差の許容値は±0.4 HR である。±0.4 HR の矩形分布を仮定すると、
u_I = 0.4 / $\sqrt{3}$ = 0.2309 HR となる。

5．8．3 ダイヤモンド圧子形状の標準不確かさ u_I（圧子の補正値を適用する場合）

ダイヤモンド圧子を用いる硬さ測定においては、上位圧子による硬さ測定値との差を補正する（圧子補正値用いる）方法がある。この場合は、5．8．1～5．8．3の不確かさを考慮する必要は無いが、圧子補正値の不確かさを考慮する必要がある。圧子補正値の校正証明書記載の拡張不確かさを包含係数（通常は包含係数, k = 2）で除して求める。

例 校正証明書記載の圧子補正値の拡張不確かさが 0.3 HR（k = 2）の場合、
u_I = 0.3 / 2 = 0.15 HR となる。

※ ダイヤモンド圧子形状の標準不確かさの推定は上記の 3 つの方法（5.8.1、5.8.2、5.8.3）のいずれか一つを選択する。

5．8．4 球圧子直径の標準不確かさ u_I

形状を測定して評価する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法がある。ただし、実際に測定するのは容易でない場合が多く、また通常この不確かさは硬さ標準片校正用試験機に対して適用されることから、圧子を管理することを考慮すると、許容値を用いるのが現実的である。この場合、球圧子直径の変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる直径 1.5875 mm 球圧子の直径の許容値は±2 μm である。±2 μm の矩形分布を仮定すると、
u_I = 5 / $\sqrt{3}$ = 1.155 μm となる。

5．9 試験機のヒステリシスの標準不確かさ

試験機のヒステリシスの標準不確かさ u_S の評価は、ヒステリシスを実測する、もしくは、規格の許容値を用いて推定する方法がある。ただし、通常この不確かさは硬さ標準片校正用試験機に対して適用されることから、試験機を管理することを考慮すると、許容値を用いるのが現実的である。この場合、ヒステリシスの変動が許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の校正に用いる試験機のヒステリシスは±1 HR が規定されているが、現実的には±0.2 HR 程度で管理する必要があると考えられる。±0.2 HR の矩形分布を仮定すると、
u_S = 0.2 / $\sqrt{3}$ = 0.1155 HR となる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

5．10 硬さ標準片の不均一性による標準不確かさ

硬さ標準片の不均一性による標準不確かさ u_U は、硬さ標準片の測定結果から評価する、あるいは、硬さ標準片の均一性に対する規格の許容値を用いる方法がある。

●方法 1 規格の許容値を用いる場合

標準片は測定による打痕が増えるにつれてばらつきが変化する可能性があり、ここで校正した標準片を用いて、硬さ試験機の間接検証を実施することを考慮すると、許容値を用いるのが妥当と考えられる。この場合、標準片の均一性が、許容値の範囲で矩形分布であると仮定し、分布の半幅を$\sqrt{3}$で除して求める。さらに平均値を測定値して報告することから、5 点測定を実施した場合、$\sqrt{5}$で除した値となる。

例 JIS B 7730 に規定された硬さ基準片の均一性（5 点測定における最大値と最小値の差）は HRC スケール、公称値 H_{NOM} の硬さ標準片の場合、0.4 又は 0.01（100 − H_{NOM}）のいずれか大きい方となっている。H_{NOM} = 60 HRC の場合 0.4 HRC となる。ここで、±0.2 HRC の矩形分布を仮定すると、
u_U = 0.2 / $(\sqrt{3} \times \sqrt{5})$ = 0.0517 HRC となる。

●方法 2 評価データを用いる場合

標準片の校正ではなく、標準片や試験片に対する硬さ測定値の不確かさを推定する場合には、実際の測定結果から、u_U を求めるのが望ましい。

硬さ標準片や試験片に対し複数点の測定を実施し、測定値の実験標準偏差 s_H を求める。ここで、測定値として平均値を用いるため、5 点測定の場合は実験標準偏差を$\sqrt{5}$で除した値が、硬さ標準片または試験片の不均一性による標準不確かさ u_U となる。

例 硬さ標準片または試験片を 5 点測定した際の測定値を H_{BLO_i}（i = 1, 2, 3, 4, 5）、
平均値を H_{BLO_AVE} とすると実験標準偏差 s_H は次式で表される。

$$s_H = \sqrt{\frac{\sum \left(H_{BLO_i} - H_{BLO_AVE}\right)^2}{5 - 1}}$$

測定値として、5 点測定の平均値を用いるので、硬さ値の検証における標準不確かさ u_{H2} は次式で表される。

$$u_U = \frac{s_H}{\sqrt{5}}$$

硬さ標準片または試験片の測定において、次の結果が得られたとすると、s_H = 0.13 HRC、
u_U = 0.13 / $\sqrt{5}$ = 0.0582 HRC となる。

	測定値
1 点目	60.5 HRC
2 点目	60.4 HRC
3 点目	60.3 HRC
4 点目	60.2 HRC
5 点目	60.5 HRC
平均値	60.4 HRC

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

5．11 その他の要因による標準不確かさ

上位の硬さ標準片を用いずに校正した試験機を用いて、校正した標準片の不確かさは各不確かさ要因の積み上げにより見積もった不確かさよりも大きくなることがある[1]。すなわち直接的な不確かさ要因だけではなく潜在するその他の不確かさ u_E の推定が必要な場合がある。硬さ標準トレーサビリティ研究会では標準片校正事者間にて標準片の持ち回り試験を実施し、その結果からその他の不確かさ u_E を推定した結果を報告している[2]。

本ガイドでは一例として、この文献で報告されている HRA、HRB および HRC スケールの標準片に対する不確かさ見積もりにおけるその他の不確かさ u_E を次の表に示す。

スケール／硬さ水準	その他の要因による標準不確かさ
65 HRC	0.14 HRC
40 HRC	0.11 HRC
20 HRC	0.20 HRC
90 HRBW	0.19 HRBW
72 HRBW	0.40 HRBW
30 HRBW	0.67 HRBW
85 HRA	0.08 HRA
65 HRA	0.12 HRA
39 HRA	0.27 HRA

5．12 ロックウェル硬さ標準片校正における校正値と拡張不確かさおよび報告

標準片を測定した際の平均値 H_{BLO_AVE} が、報告すべき校正値となる。校正値に付随する拡張不確かさ U は上述の硬さ標準片校正における合成標準不確かさ u_B に包含係数 k（通常 $k = 2$）を乗じた値となる。

$$U = u_B \times 2$$

標準片校正に上位の硬さ標準片を用いて検証した試験機を用いた場合は、次の 2 通りの拡張不確かさの表し方が考えられる。

一つは、標準片の測定値に標準片校正値からのかたより b を考慮しなかった場合（u_{H2} を用いた場合）、合成標準不確かさ u_B に包含係数 k（通常 $k = 2$）を乗じた値に、b の絶対値を加算する。

$$U = u_B \times 2 + |b|$$

もう一つは試験機の間接検証における標準不確かさに対し、標準片校正値からの差（かたより）を考慮した値 u_{HTM}' を用いて得られた合成標準不確かさ u_B' に包含係数 k（通常 $k = 2$）を乗じた値となる。標準片の校正値 H_{CRM} を用いて次のように計算される。

$$u_{HCRM}' = \sqrt{\frac{\sum(H_i - H_{CRM})^2}{5}} \quad u_{HTM}' = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{HCRM}'^2} \quad u_B' = \sqrt{u_{F0}^2 + u_{F1}^2 + u_L^2 + u_{ms}^2 + u_{HTM}'^2 + u_U^2}$$

$$U = u_B' \times 2$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

報告例 1 上位の標準片を用いずに検証した試験機を用いて、標準片を校正した場合

5 点測定値の平均値 H_{BLO_AVE} = 60.4 HRC、合成標準不確かさ u_B = 0.290 HRC とすると、以下が報告できる

校正値 :60.4 HRC
校正値の拡張不確かさ U :0.58 HRC (k = 2)

※ 校正値 = H_{BLO_AVE}, 拡張不確かさ $U = u_B \times 2$

報告例 2 上位の硬さ標準片を用いて検証した試験機を用い、試験機の間接検証における標準不確かさとして、標準片校正値からのかたよりを考慮しなかった場合（u_{HCRM} を用いた場合）

5 点測定値の平均値 H_{BLO_AVE} = 60.4 HRC、合成標準不確かさ u_B = 0.100 HRC、上位の標準片校正値からのかたより b = +0.4 HRC とすると、とすると、以下が報告できる。

校正値 :60.4 HRC
校正値の拡張不確かさ U :0.60 HRC (k = 2)

※ 校正値 = H_{BLO_AVE}, 拡張不確かさ $U = u_B \times 2 + |b|$

報告例 3 上位の硬さ標準片を用いて検証した試験機を用い、試験機の間接検証における標準不確かさとして、標準片校正値からのかたよりを考慮した場合（u_{HCRM}’ を用いた場合）

5 点測定値の平均値 H_{BLO_AVE} = 60.4 HRC、合成標準不確かさ u_B’ = 0.300 HRC とすると、以下が報告できる。

校正値 :60.4 HRC
校正値の拡張不確かさ U :0.60 HRC (k = 2)

※ 校正値 = H_{BLO_AVE}, 拡張不確かさ $U = u_B' \times 2$

6. 感度係数

各要因の標準不確かさを合算し合成標準不確かさを算出する際、硬さの単位で示されていない標準不確かさは硬さの単位に変換する必要がある。変換するために乗じる係数（感度係数）はロックウェル硬さにおいては理論的に導くことができない場合が多く、実験的に求める必要があり、この感度係数を公開している文献はいくつか存在する[3][4][5][6][7]。本ガイドでは一例として、既に公開されている文献を参考にしてまとめられた HRA、HRB および HRC スケールに対する感度係数[2]を次の表に示す。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

不確かさ要因／スケール	感度係数			単位
	HRC	HRBW	HRA	
初試験力	0.14	0.30	0.20	HR / N
試験力	0.04	0.10	0.08	HR / N
押し込み深さ測定装置	0.5	0.5	0.5	HR / μm
初試験力保持時間	0.045	0.1	0.13 (< 50HRA:0.3)	HR / s
試験力への到達時間	ー	0.03	0.05	HR / s
試験力到達時の圧子速度	0.005	ー	ー	HR / (μm / s)
試験力保持時間	0.08	0.10	0.07	HR / s
除荷後の待機時間	0.01	0.20	0.15	HR / s
ダイヤモンド圧子先端半径	0.05	ー	0.05	HR / μm
ダイヤモンド圧子円錐部角度	2.5	ー	2.5	HR / °
直径 1.5875 mm 球圧子直径	ー	0.02	ー	HR / μm

7. 有効自由度について

実験により標準偏差を推定する、いわゆるタイプ A の不確かさ評価において、測定回数が少ない場合、分散の推定精度が悪くなる。すなわち、正規分布における約 68.27 %を包含する区間と見なせなくなる場合がある。そこで、推定した合成標準不確かさは、中心極限定理に従い、t 分布であると仮定し、Welch-Satterthwaite の式により求められる有効自由度に基づく係数を包含係数として用いる。この場合、有効自由度の大きさにより包含係数は $k = 2$ でないこともあり得る。この方法は ISO/IEC ガイド 98-3:測定における不確かさの表現のガイド(GUM)において記載および推奨されている[8]。

あるいは、各タイプ A の標準不確かさに対し、その自由度(通常、残差平方和を除する値)に対するスチューデントの t を乗じて、標準不確かさを推定する方法もある。この手法は統計的にはあまり良い方法ではないが、JIS B7726 で参考に記載された方法である。

8. 不確かさバジェットの例

本ガイドに記載の各例に基づいて、作成した以下の不確かさバジェット例を示す。

・例 1 試験機校正の不確かさ(60 HRC)
　※ 試験力、押し込み深さ測定装置の評価データを用いた場合
・例 2 試験機校正の不確かさ(60 HRC)
　※ 試験力、押し込み深さ測定装置の許容値を用いた場合
・例 3 標準片校正の不確かさ(60 HRC)
　※上位標準片を用いずに検証した試験機を用いた場合
・例 4 標準片校正の不確かさ(30 HRBW)
　※上位標準片を用いずに検証した試験機を用いた場合
・例 5 標準片測定値の不確かさ(60 HRC)
　※上位標準片を用いて校正した試験機を用い、拡張不確かさにかたよりを考慮した場合
・例 6 標準片測定値の不確かさ(60 HRC)
　※上位標準片を用いて検証した試験機を用い、間接検証の標準不確かさにかたよりを考慮した場合

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 1 試験機校正の不確かさ(60 HRC)

※ 試験力、押し込み深さ測定装置の評価データを用いた場合

不確かさ要因	変動範囲(±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRC]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.14 HR/N	0.003	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.14 HR/N	0.003	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	1 N	1	1.000 N	0.14 HR/N	0.140	9
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.7355 N	2	0.368 N	0.04 HR/N	0.015	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.2942 N	1	0.294 N	0.04 HR/N	0.012	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	3 N	1	3.000 N	0.04 HR/N	0.120	9
押し込み深さ測定装置 u_L						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.12 μm	2	0.060 μm	0.5 HR/μm	0.030	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	0.2 μm	1	0.200 μm	0.5 HR/μm	0.100	33
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	√3	0.029 HR	1	0.029	∞
間接検証 u_{HTM}						
硬さ標準片の校正 u_{CRM}	0.59 HR	2	0.295 HR	1	0.295	∞
硬さ値検証 u_{HCRM}	0.1 HR	√5	0.045 HR	1	0.045	4
合成標準不確かさ u_M					0.368	262
拡張不確かさ(k = 2)					**0.74**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 2 試験機校正の不確かさ(60 HRC)

※ 試験力、押し込み深さ測定装置の許容値を用いた場合

不確かさ要因	変動範囲 (±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRC]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.14 HR/N	0.003	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.14 HR/N	0.003	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	1.961 N	√3	1.132 N	0.14 HR/N	0.159	∞
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.7355 N	2	0.368 N	0.04 HR/N	0.015	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.2942 N	1	0.294 N	0.04 HR/N	0.012	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	14.71 N	√3	8.493 N	0.04 HR/N	0.340	∞
押し込み深さ測定装置 u_{L}						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.12 μm	2	0.060 μm	0.5 HR/μm	0.030	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	1 μm	√3	0.577 HR	0.5 HR/μm	0.289	∞
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	√3	0.029 HR	1	0.029	∞
間接検証 u_{HTM}						
硬さ標準片の校正 u_{CRM}	0.59 HR	2	0.295 HR	1	0.295	∞
硬さ値検証 u_{HCRM}	0.1 HR	√5	0.045 HR	1	0.045	4
合成標準不確かさ u_{M}					0.561	99222
拡張不確かさ(k = 2)					**1.12**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 3 標準片校正の不確かさ(60 HRC)

※上位の標準片を用いずに検証した試験機を用いた場合

不確かさ要因	変動範囲(±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRC]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.14 HR/N	0.003	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.14 HR/N	0.003	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	0.196 N	√3	0.113 N	0.14 HR/N	0.016	∞
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.7355 N	2	0.368 N	0.04 HR/N	0.015	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.2942 N	1	0.294 N	0.04 HR/N	0.012	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	1.471 N	√3	0.849 N	0.04 HR/N	0.034	∞
押し込み深さ測定装置 u_L						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.06 μm	2	0.030 μm	0.5 HR/μm	0.015	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	0.2 μm	2	0.100 μm	0.5 HR/μm	0.050	∞
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	√3	0.029 HR	1	0.029	∞
試験サイクル u_T						
初試験力保持時間 u_{T1}	1 s	√3	0.577 s	0.045 HR/s	0.026	∞
負荷速度 u_{T2}	12.5 μm/s	√3	7.217 μm/s	0.005 HR/(μm/s)	0.036	∞
試験力保持時間 u_{T3}	1 s	√3	0.577 s	0.08 HR/s	0.046	∞
除荷後の待機時間 u_{T4}	1 s	√3	0.577 s	0.01 HR/s	0.006	∞
ダイヤモンド圧子形状 u_I						
圧子先端半径 u_{I1}	5 μm	√3	2.887 μm	0.05 HR/μm	0.144	∞
圧子円錐部角度 u_{I2}	0.1 °	√3	0.058 °	2.5 HR/°	0.144	∞
試験機ヒステリシス u_S	0.2 HR	√3	0.115 HR	1	0.115	∞
標準片の均一性 u_U	0.2 HR	√3・√5	0.052 HR	1	0.052	∞
その他の不確かさ u_E	0.14 HR	1	0.140 HR	1	0.140	∞
合成標準不確かさ u_B					0.295	∞
拡張不確かさ(k = 2)					**0.59**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 4 標準片校正の不確かさ(30 HRBW)

※上位の標準片を用いずに検証した試験機を用いた場合

	変動範囲 (±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRBW]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.3 HR/N	0.007	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.3 HR/N	0.006	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	0.196 N	√3	0.113 N	0.3 HR/N	0.034	∞
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.4904 N	2	0.245 N	0.1 HR/N	0.025	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.1961 N	1	0.196 N	0.1 HR/N	0.020	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	0.9807 N	√3	0.566 N	0.1 HR/N	0.057	∞
押し込み深さ測定装置 u_L						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.06 μm	2	0.030 μm	0.5 HR/μm	0.015	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	0.2 μm	2	0.100 μm	0.5 HR/μm	0.050	∞
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	√3	0.029 HR	1	0.029	∞
試験サイクル u_T						
初試験力保持時間 u_{T1}	1 s	√3	0.577 s	0.1 HR/s	0.058	∞
負荷速度 u_{T2}	3.5 s	√3	2.021 s	0.03 HR/s	0.061	∞
試験力保持時間 u_{T3}	1 s	√3	0.577 s	0.1 HR/s	0.058	∞
除荷後の待機時間 u_{T4}	1 s	√3	0.577 s	0.2 HR/s	0.115	∞
球圧子直径 u_t	2 μm	√3	1.155 μm	0.02 HR/μm	0.023	∞
試験機ヒステリシス u_S	0.2 HR	√3	0.115 HR	1	0.115	∞
標準片の均一性 u_U	1 HR	√3・√5	0.258 HR	1	0.258	∞
その他の不確かさ u_E	0.67 HR	1	0.670 HR	1	0.670	∞
合成標準不確かさ u_B					0.750	∞
拡張不確かさ(k = 2)					**1.50**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 5 標準片測定値の不確かさ(60 HRC)

※上位の標準片にて検証した試験機を用い、拡張不確かさにかたよりを考慮した場合

不確かさ要因	変動範囲(±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRC]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.14 HR/N	0.003	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.14 HR/N	0.003	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	1 N	1	1.000 N	0.14 HR/N	0.140	9
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.7355 N	2	0.368 N	0.04 HR/N	0.015	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.2942 N	1	0.294 N	0.04 HR/N	0.012	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	3 N	1	3.000 N	0.04 HR/N	0.120	9
押し込み深さ測定装置 u_L						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.12 μm	2	0.060 μm	0.5 HR/μm	0.030	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	0.2 μm	1	0.200 μm	0.5 HR/μm	0.100	33
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	√3	0.029 HR	1	0.029	∞
間接検証 u_{HTM}						
硬さ標準片の校正 u_{CRM}	0.59 HR	2	0.295 HR	1	0.295	∞
硬さ値検証 u_{HCRM}	0.1 HR	√5	0.045 HR	1	0.045	4
標準片の均一性 u_U	0.13 HR	√5	0.058 HR	1	0.058	4
合成標準不確かさ u_B					0.372	264
試験機の間接検証におけるかたより					0.4	
拡張不確かさ(k = 2)					**1.14**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

例 6 標準片測定値の不確かさ(60 HRC)

※上位の標準片にて検証した試験機を用い、間接検証の標準不確かさにかたよりを考慮した場合

不確かさ要因	変動範囲(±)	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ [HRC]	自由度
初試験力 u_{F0}						
力計等の校正 u_{FRS0}	0.0490 N	2	0.025 N	0.14 HR/N	0.003	∞
力計等の安定性 u_{FAG0}	0.0196 N	1	0.020 N	0.14 HR/N	0.003	∞
初試験力検証 u_{FHTM0}	1 N	1	1.000 N	0.14 HR/N	0.140	9
試験力 u_{F1}						
力計等の校正 u_{FRS1}	0.7355 N	2	0.368 N	0.04 HR/N	0.015	∞
力計等の安定性 u_{FAG1}	0.2942 N	1	0.294 N	0.04 HR/N	0.012	∞
試験力検証 u_{FHTM1}	3 N	1	3.000 N	0.04 HR/N	0.120	9
押し込み深さ測定装置 u_L						
指示計測装置等の校正 u_{LRS}	0.12 μm	2	0.060 μm	0.5 HR/μm	0.030	∞
深さ測定装置検証 u_{LHTM}	0.2 μm	1	0.200 μm	0.5 HR/μm	0.100	33
硬さ値の表示分解能 u_{ms}	0.05 HR	$\sqrt{3}$	0.029 HR	1	0.029	∞
間接検証 u_{HTM}'						
硬さ標準片の校正 u_{CRM}	0.59 HR	2	0.295 HR	1	0.295	∞
硬さ値検証 u_{HCRM}'	0.41 HR	1	0.410 HR	1	0.410	5
標準片の均一性 u_U	0.13 HR	$\sqrt{5}$	0.058 HR	1	0.058	4
合成標準不確かさ u_B'					0.552	16
拡張不確かさ(k = 2)					**1.10**	

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

9. 参考文献

[1] T. Sawa "Current state of Rockwell hardness in the world", Proceedings of IMEKO World Congress, Belfast, UK, 2018.

[2] 澤 健司, 花木一臣, 山本正之, 高砂和典, 尾崎隆之, 服部浩一郎「ロックウェル硬さ基準片の持ち回り測定結果に基づく基準片校正値の不確かさ推定」材料試験技術 Vol. 66, No. 1, pp 9 – 15, 2021.

[3] https://www.npl.co.uk/products-services/advanced-materials/hardness-testing, Nov. 2020.

[4] 川内春夫, 花木一臣「ロックウェル硬さ試験の力の変化と硬さ値」
力学量標準トレーサビリティ・ワークショップ [V] テキスト（日本試験機工業会), pp 21-33, 2003.

[5] COOMET Rockwell PTB/KazInMetr comparison Final report, 2008.

[6] 井上克彦, 品質工学, Vol. 20, No. 5, pp 188-192, 2012.

[7] EURAMET/cg-16/v.01, Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements, 2011.

[8] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です

改正の要旨

主な改正は、以下のとおりである。

・組織改編に伴う名称の変更等

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です